



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Raivo Rudissaar

**KASUTATUD REHVIDE TAASKASUTUSE
TEHNOLOOGIATE UURIMUS**

RESEARCH OF USED TIRES RECYCLING TECHNOLOGIES

Bakalaureusetöö
Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: lektor Lemmik Käis, *MSc*

Tartu 2018

LÜHIKOKKUVÕTE

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Raivo Rudissaar		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Kasutatud rehvide taaskasutuse tehnoloogiate uurimus			
Lehekülgi: 43	Jooniseid: 8	Tabeleid: 5	Lisasid: 1
Õppetool: Biomajandustehnoloogiate õppetool			
ETIS-e teadusvaldkond:			
4. Loodusteadused ja tehnika			
4.12. Protsessitehnoloogia ja materjaliteadus			
CERC S-i kood:			
T150 Materjalitehnoloogia			
Juhendaja: lektor Lemmik Käis			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2018			
<p>Bakalaureusetöö eesmärgiks on uurida kasutatud rehvide ümbertöötlemise tehnoloogiaid ning kirjeldada nende iseärasusi. Töös on välja toodud rehvide mõju keskkonnale ehk miks on rehvide taaskasutamine aktuaalne teema tänapäeva maailmas. Lähemalt on räägitud ka Euroopas kasutusel olevatest juhtimistüüpidest ning analüüsi tulemusena on valitud ka kõige efektiivsem juhtimistüüp, milleks on maksesüsteem. Töös räägitakse ka hetkeolukorras Eestis ning kuidas üritatakse jagu saada hetkel valitsevast rehviprobleemist. Autori poolt on välja pakutud ka lahendus Eesti olukorra parandamiseks ning soovitus hakata tootma rehviõlist diisliõli. Välja on toodud nii rehvi struktuur, rehvi koostisosad ning rehvi valmistamise protsess. Uuritakse erinevaid ümbertöötlemise tehnoloogiaid mis on jaotatud nelja tasemesse, millest enamlevinud on ümbritsev jahvatamine, krüogeene jahvatamine, devulkaniseerimine ning pürolüüs. Tasemete kaupa on tehnoloogiaid võrreldud ning seejärel teostatud ka analüüs. Peamised taaskasutamise tehnoloogiad on rehvide kasutamine energia tootmiseks, betoonisegus, teede ehituses ning rehviõlist diisliõli tegemine. Üheks taaskasutus viisiks on ka protekteerimine, mille käigus lisatakse hea struktuuriga vanale rehville uus turvis ning külgseinad. Autori poolt on teostatud ka tootearendus elastsete piirete näol äärekivide ja betoonpiirete katteks võidusõiduautode linnarallidel.</p>			
Märksõnad: protekteerimine, ümbritsev jahvatamine, pürolüüs			

ABSTRACT

Estonian University of Life Science		Abstract of Bachelor’s Thesis	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Author: Raivo Rudissaar		Curriculum: Engineering	
Title: Research of used tires recycling technologies			
Pages: 43	Figures: 8	Tables: 5	Appendixes: 1
Department: Biosystems engineering			
Research area of ETIS:			
4. Natural Sciences and Engineering			
4.12. Process Technology and Materials Science			
CERCS code:			
T150 Material technology			
Supervisor: lecturer Lemmik Käis			
Place and date: Tartu 2018			
<p>The aim of this Bachelor’s Thesis is to research used tires recycling technologies and to describe their special features. It outlines the environmental impact of tires, why the reuse of tires is a topical issue in today’s world. There is talk about management schemes in Europe and as a result of the analysis, the most effective management scheme is brought out, which is the tax system. The current situation in Estonia has also been thoroughly discussed and how the government is trying to resolve the current issue with old tyres. The author also proposes a solution to improve Estonia’s situation and a recommendation to start producing diesel oil from tire oil. Listed below are the structure and the components of the tire and the tire manufacturing process. Various recycling technologies are researched, which are dividend into four levels of which most commonly used are ambient grinding, cryogenic grinding, devulcanization and pyrolysis. Technologies separated by levels are compared and then the analysis has been performed.The main uses of recycled tires are for energy production, concrete mix, road construction and making diesel oil out of tire oil. One way of using old tires is retreading. In this process the old tire with a good strucutal quality is taken and gets added a new tread and sidewalls. The author has carried out product development in the form of resilient boundaries for curbstones and concrete slabs that can be used in racing cars City rally.</p>			
Keywords: retreading, ambient grinding, pyrolysis			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	6
1. TEEMAKOHASE KIRJANDUSE ANALÜÜS	8
1.1. Vanade rehvide mõju ümbritsevale keskkonnale	8
1.2. Rehvide ümbertöötamise ohjamine Euroopas	8
1.3. Kuidas valmistatakse sõiduauto rehvid	11
1.4. Rehvi koostisosad	11
1.4.1. Elastomeerid	11
1.4.2. Täiteained	12
1.4.3. Muud keemilised elemendid.....	12
1.4.4. Metallist ja tekstiilmaterjalist tugevdused	12
1.5. Rehvi struktuur	14
2. MATERJAL JA ARUTELU	16
2.1. Analüüs taaskasutamise kuuluvate rehvide kohta Euroopas.....	16
2.2. Arutelu hetkeolukorrast Eestis.....	17
2.2.1. Keskkonnaministeeriumi sätestatus.....	18
2.2.2. Vanarehvide kogumine ja taaskasutamine	18
2.2.3. Narva jaamade projekt.....	19
2.2.4. Iru jäätme põletusjaam.....	19
2.2.5. Autoripoolne arutelu.....	20
2.3. Rehvide ümbertöötlemise meetodid	21
2.3.1. Esimese taseme töötlemine.....	21
2.3.2. Teise taseme töötlemine	22
2.3.3. Kolmanda taseme töötlemine	25
2.3.4. Neljanda taseme töötlemine.....	28
3. TULEMUSED JA METOODIKA	30

3.1. Rehvide kasutamine energia tootmiseks	30
3.2. Rehvide kasutamine töötlemata kujul	31
3.3. Rehvide kasutamine betoonisegus.....	31
3.4. Rehviõlist diisliõli tegemine.....	32
3.5. Teede, raudteede ja mäguväljakute ehitusmaterjalina.....	33
3.6. Protekteerimine.....	33
3.7. Rehvi jäätmetest toote arendus	34
KASUTATUD KIRJANDUS	38
LISAD	42
Lihtlitsents	43

SISSEJUHATUS

Tänapäeva maailmas on üha aktuaalsemaks teemaks saanud erinevate materjalide taaskasutamise ning ümbertöötlemise võimaluste pakkumine. Globaalse soojenemise tõttu on hakatud aina rohkem rõhku panema looduse säästmisele. Üheks suurimaks probleemiks on vanade rehvide poolt tekitatud reostus ning selle olukorra parandamiseks on hakatud rohkesti panustama rehvide ümbertöötlemise ja taaskasutamise tehnoloogiatesse. Ka Eestis panustatakse üha rohkem vanadest rehvidest tekkivate probleemide likvideerimiseks, võttes kasutusele uue tehnoloogia, mis lähiaastatel peaks selle probleemi lahendama.

Antud uurimustöö eesmärgiks on uurida ning anda ülevaade kasutatud rehvide taaskasutamise ning ümbertöötlemise tehnoloogiast. Seejuures antakse ülevaade hetkeolukorrast nii Euroopas kui Eestis. Töö eesmärgi saavutamiseks on püstitatud järgmised ülesanded:

1. Uurida kasutatud rehvide saastamise mõju keskkonnale.
 - pinnase saastet
 - tulekahjusid
 - kahjurite elukeskkondade teket
2. Uurida hetkeolukorda Euroopas ning Eestis.
 - rehvi tootmise süsteeme
 - taaskasutamisele kuuluvate vanarehvide hulkasid
 - ilmnevaid probleeme ja nende lahendusi
3. Anda ülevaade rehvi, kui toote olemusest.
 - selle koostisest
 - materjalidest
 - ehitusest ja struktuurist
4. Uurida ning analüüsida kasutatud rehvide ümbertöötlemise tehnoloogiaid.
 - esimese taseme töötlemist
 - teise taseme töötlemist
 - kolmanda taseme töötlemist
 - neljanda taseme töötlemist

5. Pakkuda kasutatud rehvide taaskasutamise tehnoloogiaid.

- betoonisegus kasutamist
- diisliõli valmistamist
- kasutatust teede ehitusel

Uurimistöös kasutatakse kvalitatiivset meetodikat, kus kogutakse erinevate kirjandusallikate põhjal andmeid ja seejärel analüüsitakse saadud tulemusi ning tehakse loogilisi järeldusi.

1. TEEMAKOHASE KIRJANDUSE ANALÜÜS

1.1. Vanade rehvide mõju ümbritsevale keskkonnale

Rehvid kujutavad endast tõsist ohtu keskkonnale mitmel rindel. Peamine oht seisneb rehvides kasutatud kemikaalides. Rehvide lagunemisest, põletamisest või nende juhuslikust tulekahjust vabaneb tohtu hulk mürgiseid aineid, mis reostavad nii vett, õhku kui maapinda. Kuigi enamus riike reguleerivad vanade rehvide ära viskamist seadustega, toimub siiski ka illegaalne rehvide ära viskamine metsade alla. Peamiselt saastavad mulda rehvis olevad õlid, mis lagunemise käigul vabanevad ning ka rasked metallid nagu plii, mis võib püsida keskkonnas pikka aega ning aja jooksul ka koguneda. Osad rehvides olevad kemikaalid võivad põhjustada nii vähki kui ka geenide mutatsiooni. [8, 40]

Suureks mureallikaks on rehvihunnikutest tekkinud tulekahjud, mida on väga raske ohjeldada ning pea võimatu kustutada. Tulekahjude alustamiseks piisab vaid klaasikillust või mõnest plekkpurgist, mis peegeldab päikesekiired rehvi peale ning soojendab rehvi kuniks aja möödudes rehvi süttib. Põlengute käigus paiskub õhku tohututes kogustes mürgi, mis võivad halvendada inimestel juba olevaid hingamisprobleeme. [8, 40]

Kuna rehvid koguvad enda sisse ka vett, siis tekivad head paljunemis tingimused sääskedele ja teistele putukatele. See omakorda suurendab putukatega kaasnevate haiguste, nagu entsefaliit, riski. Häid elutingimusi pakub selline keskkond ka närilistele. [8, 40]

Vanad rehvid seavad ohtu ümbritseva keskkonna nendes olevate erinevate kemikaalide tõttu ning kui suure tulekahju allikana. Ka pikas perspektiivis rehvide lagunemise käigul pinnasesse imuvatest kemikaalidest või tulekahju korral õhku sattunud mürgistest ainetest.

1.2. Rehvide ümbertöötamise ohjamine Euroopas

Euroopas on rehvide ümbertöötamiseks kasutusel kolm erinevat juhtimistüüpi, milleks on: 1) tootjavastutus süsteem, 2) maksesüsteem ning 3) vaba turu süsteem. Iga riik valib sobiva juhtimistüübi ise, arvestades valitsevat hetkeolukorda ning tüübi tõhusust lahendama riigis olevat rehviprobleemi.

Tootja vastutuse puhul määratleb seadus õigusliku raamistiku ja paneb tootjale (rehvitootjale ja -importijale) vastutuse korraldada vanade rehvide taaskasutamise/ümbertöötlemise

juhtimisahela. See süsteem tundub olevat kõige sobivam ja vastupidavam viis lahendamaks vanade rehvide tekke tõusu pikaajalises perspektiivis, jätkusuutlikul viisil ning saavutada 100% määr taaskasutamises ja seda kõige ökonoomsemal viisil. Üldiselt on rehvitootjad selgesti seda süsteemi eelistama hakanud ning on otsustanud pühenduda just sellele teele. [35]

Maksusüsteemi kohaselt vastutavad kõik riigid ise vanade rehvide kõrvaldamise ja taaskasutamise eest. Seda rahastatakse rehvide tootmise maksustamisega, mis seejärel edastatakse hiljem kliendile ehk määratud maks läheb rehvi hinnale juurde. See on vahesüsteem, mille abil tootjad maksavad riigile maksu, ning riik vastutab üldiselt organisatsioonide eest ja tasustab taaskasutamisahela ettevõtjaid. [36]

Vaba turu süsteemis on õigusaktides sätestatud eesmärgid, mida tuleb täita, kuid see ei määra vastutavaid isikuid. Seega lepivad kõik taaskasutamisahela ettevõtjad vaba turu tingimustes kokku ja järgivad õigusakte. Seda süsteemi toetab ka vabatahtlik koostöö ettevõtete vahel, et tagada parimate tavade tutvustus. [37]

Järgneval joonisel (Joonis 1) on välja toodud rehvide ümbertöötlemise juhtimistüüpide asetus Euroopas.



Joonis 1. Rehvide ümbertöötlemise juhtimistüübid Euroopas. [11]

Jooniselt 1 on võimalike välja lugeda järgnevat: 21-s Euroopa riigis kasutatakse tootja vastutusel põhinevat juhtimistüüpi, üheksas riigis kasutatakse maksusüsteemi ning kahes riigis kasutatakse vaba turu süsteemi.

Järgnevas tabelis (Tabel 1) on välja toodud erinevate juhtimistüüpide esindajariikide kasutatud rehvide kogused kilotonnides, mis kuuluvad taaskasutamisele ning ümbertöötlemisele.

Tabel 1. Erinevate juhtimistüüpide esindajariigid [10]

	Kasutatud rehvide tekkimise hulk	Osaliselt kulunud rehvide taas- kasutuse hulk	Kasutuse lõpul olevate rehvide ümbertöötlemise hulk		Prügila/ Jäägi hulk	Taas- kasutatud rehvide hulk kokku	Taas- kasutatud rehvide hulk
	(kt)	(kt)	(kt)		(kt)	(kt)	%-des
			Materjal	Energia			
Austria	67	6	35	26	0	67	100%
Saksamaa	577	135	281	161	0	577	100%
Šveits	82	37	20	25	0	82	100%
Taani	43	2	41	0	0	43	100%
Horvaatia	25	1	16	2	6	19	76 %
Eesti	9	0	3	3	3	6	67%
Slovakkia	19	5	9,5	1	8	11	58%
Belgia	83	12	62	9	0	83	100%

Tabeli 1 põhjal saame teha võrdluse rehvide ümbertöötlemise juhtimistüüpide kohta Euroopas. Võrdluseks võeti riigid juhtimisviiside tüübi järgi. Tootjavastutussüsteemi tüüpi esindavad Slovakkia, Eesti, Belgia, makesüsteemi tüüpi esindavad Austria, Saksamaa, Šveits ning yaba turu süsteemi tüüpi esindavad Taani ja Horvaatia. Tabeli põhjal saame väita, et kõige paremaks juhtimistüübiks on maksesüsteem, kuna eelnimetatud riike võrreldes on sellel tüübil efektiivsus kõige parem (100%). Autori hinnangu põhjal on kõige pädevam juhtimistüüp maksesüsteem, kuna see võtab rehvi tootjatel ning edasimüüjatelt suure koormuse õlgadelt ära ning määrab riigi taaskasutuse korraldajaks. Sellele järgneb yaba turu süsteem, mille efektiivsus on keskmiselt 88% ning viimaseks on tootjavastutus tüüp, mille efektiivsus on umbes 75%.

1.3. Kuidas valmistatakse sõiduauto rehvid

Rehvide valmistamise tootmisprotsessis kasutatakse erilisse koostisega materjale ning rehvisiseseid konstruktsiooni. Rehvi omadused ning ehitus sõltub vastavalt tootja poolt määratud nõuetele ning kasutavale otstarbele. [1]

Kummisegusse mida kasutatakse rehvi valmistamiseks, võib kuuluda kuni 30 erinevat komponenti. Komponentide osakaal määrab soovitud sooritusvõimete näitajad. Segamiseks kasutatakse *Banbury* segumasinat, kus segatakse omavahel kokku mitut tüüpi kummi, täidised ning muud koostisaineid. [1]

Saadud kummitaoline segu jahutatakse maha ning seejärel läheb edasiseks töötlemiseks, kus segu lõigatakse ribadeks, millest hiljem moodustatakse rehvi struktuur. [1]

Ühel masinal toimub kogu rehvi valmistamise faasid, kuhu pannakse sisse tekstiil, terasvööd, randid, kihid, turvis ja muud komponendid ning lõpptulemuseks saadakse rehvigasarnanev toode mida nimetatakse rohelisteks rehviks. [1]

Kuumades vormides toimub rohelse rehvi kõvendamine või vulkaniseerimine, kus ühendatakse kõik rehvi osad omavahel. Selle käigus antakse rehville teda iseloomustav lõplik kuju ning tervisemuster. Viimasena lisatakse rehvi küljele teave. [1]

Kõik rehvid läbivad põhjaliku kontrolli enne tehast väljumist, et nad vastaks seatud standardile. Kvaliteedikontrolli teostavad spetsiaalse väljaõppe saanud insenerid. Kasutatakse ka röntgeniaparate, millega kontrollitakse rehve võimalike nõrkade kohtade suhtes. Igast partiist valitakse suvaliselt mõned rehvid mis lõigatakse katki sisemuse kontrolliks. [1]

1.4. Rehvi koostisosad

1.4.1. Elastomeerid

Naturaalne kumm on piimjas, valge lateks, mis sisaldab kummist gloobuleid ning saadakse kummipuudele sisselõiget tehes. Kummipuud vajavad kasvuks spetsiifilisi kliimatingimusi ja vihamsadu, seetõttu paiknevad kasvandused peamiselt Kagu-Aaasias, Ladina-Ameerikas ja Aafrikas. Ühendi koostises olev naturaalne kumm vähendab sisemise soojusenergia tekkimist, pakkudes samas kõrget mehaanilist vastupidavust. [2]

Süntetiline kumm moodustab 60% rehvi tööstuses kasutatavast kummist, mis on toodetud naftast saadud süsivesinikest. Süntetilised elastomeerid deformeeruvad neile osutatud surve

all ning peale surve vabastamist võtavad oma esialgse kuju tagasi. See on väga väärtuslik komponent kõrgsurve rehvide tootmisel. Sünteetiline kumm pakub ka teisi spetsiifilisi omadust, millest märkimisväärsamad on pikaelasticuse ja veeretakistuse valdkondades. [2]

1.4.2. Täiteained

Musta süsiniku juurde lisamisel kummiühenditele, suurendab see rehvi kulumiskindlust kümme korda. See on 25-30% kummi koostisest ning annab rehvidele isepärase värvi. See värvus on väga efektiivne kaitses ultraviolet kiirguste vastu, et kaitsta rehvi purunemise ja pragunemise eest. [2]

Ränidioksiid on saadud liivast ning omab omadusi, mis lisades kummiühenditele parandab rehvi vastupidavust rebenemise vastu. Aastal 1992 tegi *Michelin* suure sammu edasi, kombineerides ränidioksiidi ja spetsiifilise elastomeeri erilise sideainega, kasutades spetsiaalset segamisprotsessi. Saadud ühendiga tehtud rehvidel oli väiksem veeretakistusjõud, parem haare külmal pinnal ning erakordne pikaelasticus. [2]

1.4.3. Muud keemilised elemendid

Muud keemilised elemendid, mida kasutatakse veel rehvi valmistamisel on väävel. Väävel on vulkaniseeriv aine, mis muundab kummi plastilisest olekust elastsesse olekusse. Selle toiminguga käivad kaasas aeglustuvate ja kiirendavate toodete samaaegne kasutamine tootmise ajal, mis optimeerivad soojuskiiruse kui rehvi on kõvenenud. [2]

1.4.4. Metallist ja tekstiilmaterjalist tugevdused

Metallist tugevdusi tutvustas esimesena oma rehvidesse *Michelin*, aastal 1934. Seesugune suur tehniline edu, kombineeritud kattekihi arendamisega pakkus tugevat füüsikalise-keemilist sidet kummi ja metalli vahel, mis oli 1937. aastal tööstuslikult toodetud *Michelin Metallic* veoauto rehvis. Sellest ajast alates on terast kasutatud radiaalrehvide rihmade tugevdamiseks. Metallist tugevdused annavad rehvidele juurde vastupidavust ja jäikust. [2]

Tekstiili on alati kasutatud rehvide tugevdamiseks. Kanga tugevdus mängib hetkel suurt rolli suure jõudluse ja – kiirusega rehvidel. Polüester, nailon, kunstiid ja aramiid on kõik kasutatud tugevduste valmistamiseks, mis pakuvad lisatud vastupidavust, kestvust ja mugavust. [2]

Sõiduauto rehvi keskmine kaal jääb vahemikku seitse kuni üheksa kilogrammi ja veoauto rehvi keskmine kaal jääb vahemikku 40 kuni 75 kilogrammi, sõltuvalt veoauto tüübist ning kasutatavast eesmärgist[3]. Tabelis 2 on välja toodud sõidu- ning veoauto rehvide koostisosade osakaalud.

Tabel 2. Sõidu- ja veoauto rehvide koostise osakaalud [3]

Materjal	Sõiduauto	Veauto
Elastomeerid	$\pm 43\%$	$\pm 45\%$
Must süsinik ning ränidioksiid	$\pm 27\%$	$\pm 20\%$
Metallid	$\pm 11\%$	$\pm 22\%$
Tekstiilmaterjal	$\pm 5\%$	$\pm 1\%$
Vulkaniseerimisvahendid	$\pm 3\%$	$\pm 3\%$
Lisandid	$\pm 3\%$	$\pm 3\%$
Aromaatsed õlid	$\pm 8\%$	$\pm 8\%$

Eelnevast tabelist (Tabel 2) on võimalik välja lugeda , et nii sõiduauto kui veoauto rehvi koosneb üle 40% elastomeeridest. Musta süsiniku ning ränidioksiidi osakaal sõiduauto rehvis on 7% suurem, kui veoauto rehvis. Tugevdusmaterjalidena kasutatakse sõiduauto rehvide valmistamisel nii metalli kui tekstiilmaterjali, vastavalt siis $\pm 11\%$ ning $\pm 5\%$. Veoautode rehvide valmistamisel kasutatakse enamasti ainult metalle, mis moodustavad $\pm 22\%$ kogu rehvi osakaalust ning tekstiilmaterjale kasutatakse kõigest 1% jagu. Tugevdusmaterjalide jaotus on veoautol selline seetõttu, et veoauto rehvid peavad olema kordades suurema kandevõimega, kui seda on sõiduauto rehvid. Ülejäänud koostisosad on nii sõiduautil kui veoautol samaväärse osakaaluna, kus vulkaniseerimisvahendid moodustavad $\pm 3\%$, lisandid ka $\pm 3\%$ ning aromaatsed õlid $\pm 8\%$ rehvide osakaalust.

1.5. Rehvi struktuur

Rehvi välised funktsioonid ei ole märgatavalt muutunud viimase 50 aasta jooksul, kui esmakordselt tutvustati radiaalrehvi. Kuid sisemisi muudatusi on tehtud ja on veel juurdegi planeeritud, mis jätkuvalt parandavad funktsionaalsust ja vastupidavust lisaks keskkonnakvaliteedile. Mõned neist muudatustest mõjutavad ka viise kuidas rehve väärtustatakse, kui nende eluiga maanteel on lõppenud. [3]

Turvis (Joonis 2) on rehvi osa, mis on otseses kokkupuutes teega, et säilitada veojõud kui sõiduk liigub edasi, tagasi, keerab või peatub, kas kuiva või märja ilma korral. Kummiühendid milles on loodusliku kautšuki ja täiteainete kõrge kontsentratsioon, mis omakorda varieeruvad vastavalt rehvi kategooriale ja kohalikele tingimustele. Nende nõuete järgi vormitakse muster, kus turvise tahked osad eemaldavad vee samal ajal kui kanalid võimaldavad veel voolata väljapoole, võimaldades turvisel püsida teega kontaktis terve aja. [3]

Vöö (Joonis 2) pakub struktuurset tuge turvisele, aidates säilitada rehvi kuju. Valmistatud kummilehtede kihtidest, mis sisaldavad messingiga kaetud kõrge süsinikterase traate, mis asetatakse vaheldumisi erinevatel nurkadel turvise alla. See aitab hoida kontakti tee ja rehvi vahel, tagab sujuvama sõidu ning vähendab ebaühtlast rehvide kulumist. Mõned tootjad on tutvustanud aramiid sidemeid, millega soovitakse asendada terasest vöötmeid. [3]

Rehvi külgseinad (Joonis 2) on kinnitatud korpusele. See aitab kaasa struktuursele terviklikkusele, sisemise mõõtme seadmisele ning tugevdades liidest rehvi ja ratta ülaosa vahel. Külgseinad on disainitud painduma üles ja alla, maantee ebatasasusi arvestades, samal ajal püües suhteliselt jäigalt horisontaalselt, reageerides sõidutegevustele, nagu juhtimine, pidurdamine *jne*. Kuna nad on avatud kulumiskahjustustele, UV ning osooni lagunemisele, siis seetõttu nendes osades kasutatavad ühendid sisaldavad erinevaid koostisosi, et neutraliseerida need toimed, näiteks erinevad antioksüdandid. [3]

Korpus (Joonis 2) tagab rehvi kuju ja sisemise struktuuri ning kannab rehville laskuvat koormust. See on traditsiooniliselt tehtud metallist, kunstsiidist, nailonist või polüestri paeltest mis on kaetud loodusliku kummi ainega. Alates aastast 1980. on tutvustatud spetsiaalset aramiidide seeriat mõnede toodete juures, peamiselt rehvi kaalu vähendamise eesmärgil. [3]

Rant (Joonis 2) on konstruktsioonielement, mis ümbritseb korpuse serva, et kinnitada rehvi metallist velje servale nii, et see ei nihkuks ega tuleks lahti sõidu ajal. Need on valmistatud tsiingi spiraalidest või pronksiga kaetud üksiku hõõgniidi tugevast terastraadist mis on kaetud

kummiga ning mis lisavad märkimisväärselt rehvide kaalule juurde. Uuenduslikud mittemetallist materjale on võetud kasutusele, et vähendada rehvi kaalu. [3] Tipp (Joonis 2), mis asub randi lõpus, kasutatakse rehvi järkjärguliseks kujundamiseks, mis teeb ülemineku peaaegu jäigast randist kuni painduvate külgseinte keskpunktini. See on vormitud täitematerjalist ja tugevdavatest vaikudest. [3]

Sisemine vooder (Joonis 2) on rehvi lahutamatu osa, mis tagab korpuse voodri, et hoida seal õhku ning säilitada püsivat survet, mis aitab omakorda parandada veeretakistust ja energiasäästu. Nagu õhukummi, mille see on asendanud enamik rehvides, toodetakse seda kõige sagedamini butüülkummist. [3]



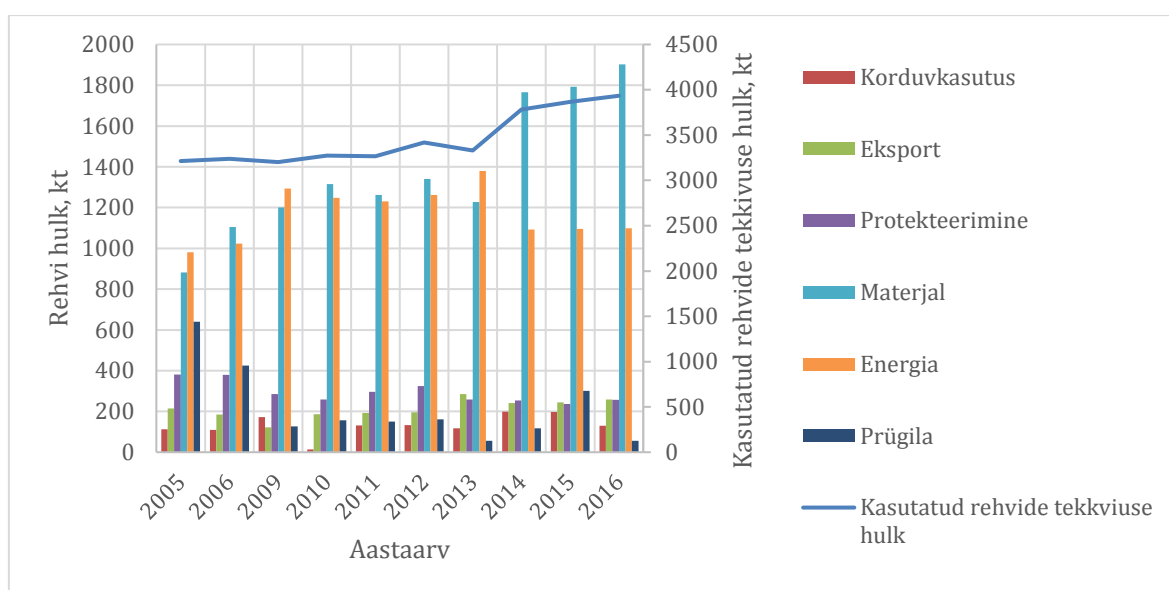
Joonis 2. Rehvi struktuur; A – turvis, B – vöö , C – külgseinad, D – korpus, E – rant, F – tipp, G – sisemine vooder. [3]

Kuigi rehvi välised funktsioonid on viimaste aastakümnete jooksul vähe muutunud, siis rehvi valmistamisel kasutatavad koostisosad ning tootmisprotsessid on teinud märkimisväärse edasimineku. Põhilist rõhku on hakatud panema rehvi kestvusele ja vastupidavusele, et rehve oleks võimalik kauem ringluses hoida

2. MATERJAL JA ARUTELU

2.1. Analüüs taaskasutamisele kuuluvate rehvide kohta Euroopas

Järgneval joonisel (Joonis 3) on välja toodud kasutatatud rehvide ning selle taaskasutamisele ja ümbertöötlemisele kuuluvate rehvide hulga ülevaade erinevate aastate jooksul Euroopas.



Joonis 3. Euroopas ümbertöötlemisele ning taaskasutamisele kuuluvate rehvide hulk aastate vahemiku jooksul. [10, 12, 23-30]

Autor on koostanud joonisel 3 oleva diagrammi uurides erinevaid tabeleid rehvide ümbertöötlemise ning taaskasutamise kohta Euroopas. Joonisel 3 on välja toodud erinevate aastate lõikes kasutatud rehvide tekkimise hulk ning viisid kuidas neid taaskasutatakse või ümber töödeldakse. Jooniselt puuduvad aastad 2007-2008 kuna nende aastate kohta ei ole andmeid avaldatud. Kõigepealt on jooniselt näha, et kasutatud rehvide tekkimise hulk on iga aastaga aina kasvand. Aastatel 2013-2014 on kasv teinud märkimisväärselt suurema hüppe kui varasematel aastatel, aastate vahe on ligikaudu 452 kilotonni. Kasutatud rehvide kasutamine materjalina, on viimaste aastate jooksul üha enam populaarsust kogunud. Aastatel 2005-2006 ning aastatel 2009-2013 on vanade rehvide utiliseerimiseks olnud vahelduvalt populaarseimateks viisideks nende kas materjali või energia tootmiseks kasutamine. Aastal 2014 on materjalina kasutamine teinud suure hüppe, ning kuni aastani

2016 hoidnud oma populaarsust – rehve kasutati materjalina 700 kuni 900 kilotonni rohkem, kui seda tehti energia tootmiseks. Rehvide kasutamine energia tootmiseks on aastatel 2014-2016 on püsinud stabiilselt 1090 kilotonni juures. Korduvkasutuseks läinud rehvide hulk ei ole aastate jooksul väga muutunud peale 2010 aasta, kus korduvkasutusse läks 13 000 tonni rehve. Väiksem tõus on tekkinud jällegi 2014 aastal ning püsinud kuni 2015 aastani ja aastal 2016 on korduvkasutamine jällegi langenud. Väidetavalt on seis kasutatud rehvide ekspordi hulga kohta sama, mis aastate jooksul on väga vähe muutunud. Kuna turg on pidevas muutmises ning üha enam leitakse säästlikumaid tootmisviise ning seetõttu vähenevad ka rehvide hinnad, siis on rehvide protekteerimine aastate jooksul oma populaarsust kaotanud, kuna odavam on osta kvaliteetne rehvi kui lasta vanale, ebakindlale rehville uus turvise kiht ning külgliseinad peale panna. Joonist uurides pakub suurt heameelt tõsiasi, et rehvide hulk prügilates on aastate jooksul üha enam väiksemaks jäänud, tänu uuematele ümbertöötlemise protsessidele. Aastal 2005 oli kasutatud rehvide hulk prügilas 640 kilotonni, aastaks 2006 oli see hulk langenud 425 kilotonni peale ning aastatel 2010-2012 püsinud stabiilselt 150 kuni 160 kilotonni ringis. Aastal 2014 langes see hulk 117 kilotonni peale ning teadmata põhjustel aastal 2015 tõusis kasutatud rehvide hulk prügilas pea 200 kilotonni võrra 301 kilotonnini. Kuid 2016. aastaks oli probleemile lahendus leitud ning prügilasse läks kõigest 56 kilotonni suurune hulk kasutatud rehve.

2.2. Arutelu hetkeolukorrast Eestis

Eestis olev vanarehvide probleem on tekkinud mitme asjaolu kokkulangemise tõttu. Peamisteks põhjusteks on rehvide piiratud käitlemisvõimalus, sisseveetud rehvide arvelt ei maksta taaskasutustasu ja rehvide madal taaskasutushind, mis ei kata käitlemise kulusid. [15]

Hetkese seisuga on Eestis alles vaid üks organisatsioon, mis tegeleb vanarehvide kogumise ja taaskasutamise korraldamise teenust, milleks on MTÜ Rehviringlus. Kõigest kaks aastat tagasi pakkus sama teenust ka MTÜ Eesti Rehviliit, kes suutis kümne aasta jooksul taaskasutada ligi 60 000 tonni rehve. Eesti Rehviliit oleks võinud kaaluda tegevuse jätkamist ja süsteemsete probleemide lahendamise ootamist, kuid paraku takerdusid kõik variandid pikemaajalisse bürokraatiasse või siis majanduslikult liiga kallite lahenduste taha. [16,17]

2.2.1. Keskkonnaministeeriumi sätestatus

Eestis on kasutusel tootja vastutus juhtimistüüp, mis seab rehvide tootjale või edasimüüjale kohustuse tagada ka nende poolt turule lastud rehvide jäätmete kokku korjamise ning nõuetekohase käitlemise. Antud hetkel päevakorras oleva vanarehvide probleemi lahendamiseks töötas Keskkonnaministeerium välja ettepanekud jäätmeseaduse muutmiseks, et tagada suurem kontroll ja järelvalve turul olevate rehvikoguste üle. [20]

Esimene ettepanek on suunatud tootjatele, kes esitaks õigeaegselt korrektsed andmed probleemtooteregistrisse (edaspidi PROTO) nende poolt turule lastud rehvide kohta. Põhinedes vajadusele, sätestatakse audiitorkontrolli nõue tootjatele, kelle turule jõudev toodang ületab aastas 50 tonni. Audiitori ülesandeks on kontrollida tegelik rehvide kogus mis lastakse turule ning tagada PROTOsse ning tootjavastutusorganisatsioonile (edaspidi TVO) esitavate andmete õigsus. Kontroll toimub ainult siis, kui auditist ilmneb, et esitatud andmetes esineb puudusi.

Teine ettepanek on suunatud edasimüüjatele, kes müüks ainult tootjate poolt PROTOsse kantud rehve. Turustaja ülesandeks on rehvide müümisel fikseerida dokumentidesse rehvi tootja nimi ja PROTO registreeringu number, et tagada taaskasutusega kaetud rehvide müük. Kui turustaja otsustab müüa rehve, mis ei ole PROTOs registreeritud, tuleb turustajal ise täita jäätmeseadusega tootjale seatud nõudeid. [20]

Kolmas ettepanek on suurendada järelvalvet tootjate ja TVOde üle. Selleks on vaja laiendada järelvalve õigust omavate isikute rühma. Keskkonnaametile on üle antud PROTO volitatud töötleja õigused Keskkonnaagentuurilt. Seega on Keskkonnaametil võimalik teostada ka järelvalve toiminguid, teha ettekirjutusi ja määrata sunniraha tootjatele või TVOdele, kui nad on jätnud andmed PROTOsse sisse kandmata. [20]

2.2.2. Vanarehvide kogumine ja taaskasutamine

Rehvi tootjatel on kohustus rajada vanarehvide kogumispunktid igasse Eesti maakonda, arvestades rahvastiku tihendust ja tagada kasutajale mugav vanarehvide üleandmise võimalus. Vanarehvide kogumispunktid peavad olema rajatud tootjate poolt vähemalt igasse linna, alevisse ja üle 1 500 elanikuga alevikku. Rehvide tootjal on kohustus tagastamise hetkeks kasutuks muutunud rehvid tasuta tagasi võtta: 1) rehvide endistelt omanikelt, 2) hooldustöökojalt mis tegeleb rehvide või mootorsõidukitega ja 3) ümbritsevatelt

omavalitsusüksustelt ja 4) lepingu alusel jäätmekäitlejatelt, kes haldusüksuse alal tegutsevad. [21]

Vanarehvide ladestamine prügilatesse on keelatud, seega tuleb kõik kogutud vanarehvid 100% taaskasutada. Taaskasutamise käigus tuleb kõrvale panna rehvid, mida on võimalik protekteerida või korduvkasutada. [21]

2.2.3. Narva jaamade projekt

Eesti Energia eestvedamisel koostatakse projekti, millega oleks võimalik narva jaamades kõik vanarehvid ümber töödelda ning õliks teha. Eestis tekib aastas juurde umbes 12 000 tonni rehve ning vanadest aegadest on jäänud mööda Eestimaad laiali kolm korda niipalju. Vanad rehvid sisaldavad energiat neli korda rohkem kui põlevkivi, põlevkivis on 8 MJ/kg ning vanades rehvides on 34 MJ/kg. Teostatud katsete tulemused näitavad, et rehve on võimalik kasutada *Enefit* pürolüüstehnoloogial tahkest materjalist kütuse saamiseks. Antud tehnoloogia võimaldab sel moel ühel õlithasel aastas läbi töödelda kuni 100 000 tonni rehve. [18]

Hetkese seisuga on Eesti Energia valmis rehvidest energiat tootma, kuid ennem tuleb vastav luba saada Euroopa Komisjonilt. Taotluse valmistamisega tegeleb hetkel Keskkonnaministeerium. Kuigi tehniliselt oleks Eesti Energial võimalik rehve kasutada õlithases kuni kaheksa protsenti, siis algselt nad selle koguseni koheselt ei jõua ettenähtud piirangute tõttu, kuid kõik mis puudutab Eestis vedelemaid vanu rehve, suudetakse ära kasutada. [34]

2.2.4. Iru jäätmepõletusjaam

Alates 2007. aastast märtsist kasutatakse Iru jäätmepõletusjaamades segaolmejäätmete kõrval kütusena ka vanu rehve. Rehvide kasutamine segaolmejäätmete põletamise kõrval täiendavat mõju keskkonnale kaasa ei too. Keskkonnaloa alusel võidakse aastas põletada kuni 5 000 tonni rehve, lisades neid segaolmejäätmete sekka kuni 2%. Jäätmepõletusplokil on spetsiaalsed puhastusseadmed, mis tagavad, et ohtlikud ühendid ei jõuaks keskkonda, mida kinnitas ka 2016. aastal teostatud katsed. Jaamas tekkivad heitmed on

püsimonitooringu all, mis heitmete kasvu korral üle normi seiskab jaama töö automaatselt. [19]

Iru elektrijaam varustab soojusega Tallinna ja Maardu kaugküttevõrku ning jaamas toodetud elekter müüakse elektribörsile. Täisvõimsusel töötades on põletusjaam suuteline põletama päevas 720 tonni rehve, mis teeb keskmiselt 30 tonni rehve tunnis. Ligi 85% jäätmetest sisalduvast energiast muundatakse elektriks ja soojuseks. Jaama soojuse tootmise võimsus on vastavalt 50 MW ja elektritootmise võimsus 17 MW. [19]

2.2.5. Autoripoolne arutelu

Eestis seisneva vanade rehvide probleemi lahendamist tuleks autori arvates alustada kõigepealt taaskasutuse juhtimistüübi muutmisega. Eestis hetkel kasutuses olev tootja vastutusel põhinev süsteem ei ole eelnevalt andmete põhjal kõige parem, kuna efektiivsuse protsent oli kõigest 67%. Efektiivsus on madal seetõttu, et hetkese seisuga ei tasu Eestis rehvide ümbertöötlemine ära, kuna hetkel ei ole võimalik sel alal kasumit teenida. Olukord on sellisesse punkti jõudnud seetõttu, et paljud tarbijad kasutavad ära seaduses esinevaid lünkasi omakasu eesmärgil. Rehvivahetus firmad viivad eraisikutele rehvid kogumispunktidest ja seda põhjusel, et määruse alusel on igal eraisikul võimalus viia kogumispunkti rehvid tasuta [31, 33]. Nii viiakse kogumispunktidest iga aasta hunnikute viise rehve, ilma et keegi midagi maksaks. Teiseks probleemiks on rehvide toomine välismaalt odavama hinna eest, ning seega jääb Eestis tootjavastutusorganisatsioonile nende rehvide eest ümbertöötlemise tasu saamata, aga kui varasemalt sisse toodud rehvide eluiga on läbi, viiakse need tasuta kogumispunkti. Selline teguviis aastast aastasse tähendab seda, et lõpuks maksavad tootjavastutusorganisatsioonid ise rehvide ümberkäitlemise omast taskust kinni. Keskkonnaamet on üritanud seda probleemi küll lahendada, lisades rehvid nüüdsest probleemtooteregistrisse, kuid see suurendab vaid bürokraatiat, ning bürokraatia on ka põhjus, mille tõttu MTÜ Rehvi Liit oma ukseid sulges. Autori soovitus oleks juhtimistüübi muutmine maksusüsteemiks, kuna sel viisil ei lasku kogu raskus tootjate õlgadele, vaid probleemi lahendamisse sekkub ka riik, kes tasustab taaskasutamishelate ettevõtjaid.

Kuna Eesti Energia eestvedamisel plaanitakse narva jaamades hakata vanu rehve ümber töötleva, tehes neist rehviõli, siis oleks mõistlik seda õli peale kütuseks kasutamise kasutada

ka veel diisliõli tegemiseks. Kasutades spetsiaalseid rafineerimise masinaid, on võimalik rehviõlist saada kuni 85% puhtusega diisliõli, mida saab kasutada nii veoautode, generaatorite, laevade ja teiste madala kiirusega mootorite kütusena [6]. Arvestades, et hinnangute kohaselt tekib Eestis aasta umbes 12 000 tonni vanu rehve, siis nende ümbertöötlemise käigus on võimalik saada umbes 4 000 tonni diisliõli [19, 32].

Eestis ilmnev vanarehvide probleem peaks leidma lahenduse järgnevatel aastatel, kui Eesti Energial õnnestub Euroopa komisjonilt saada luba rehviõli tootmiseks. Seda seetõttu, et Eesti Energia poolt kasutatav tehnoloogia suudab töödelda aastas kuni 100 000 tonni vanu rehve, ning hinnanguliselt on neid Eestimaal laiali umbes 48 000 tonni.

2.3. Rehvide ümbertöötlemise meetodid

Rehvide ümbertöötlemise meetodeid jagatakse nelja rühma ehk on neli taset. Tasemete põhimõtte seisneb selles, et iga järgneva taseme väljund on eelmisest tasemest väiksem ning eelmise taseme väljundit kasutatakse enamjaolt järgmise taseme tehnoloogiates toorainena. Kui esimese taseme töötlemise väljundid on 50-300 mm suurused rehvilaastud siis neljanda taseme väljundiks on juba puhas pulber. Iga taseme väljund omab tähtsat rolli taaskasutamises ning ümbertöötlemises.

2.3.1. Esimese taseme töötlemine

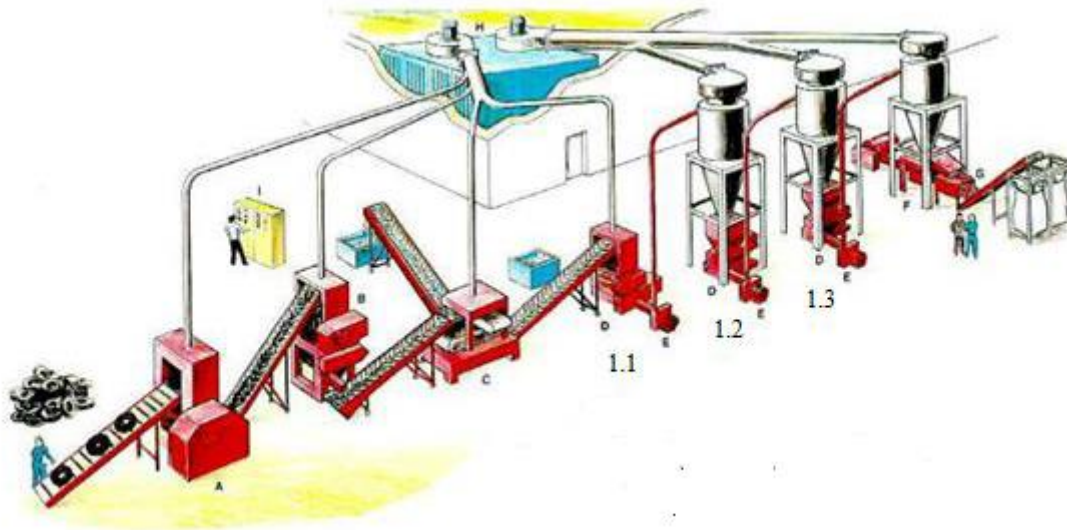
Need on määratletud kui lihtsad mehaanilised vahendid, mida kasutatakse rehvi struktuuri näiteks kuju, kandevõime, jäikuse *jne.* töötlemiseks. Kõige tavalisemad vahendid hõlmavad rantide eemaldamist, kokku surumist või lõikamist. Suurt osa väljunditest kasutatakse otseselt ära tsiviilehitustel või ehitusrakendustes. Ülejäänut kasutatakse edasistes töötlemistes lähteainena. [3]

2.3.2. Teise taseme töötlemine

Teise taseme töötlemine eraldab materjali põhikomponendid, näiteks: kummi, metalli ja tekstiili. Kõige enamlevinud tehnoloogiad on ümbritsev jahvatamine ja krüogeene jahvatamine, kuid on ka uuemaid tehnoloogiaid, mis on kavandatud materjali vähendama 1-15 mm suurusteks tükkideks. Toorainena kasutatakse peamiselt terveid rehve või esimese taseme töötlemise väljundeid. Teise taseme töötlemise tulemit saab otseselt kasutada rakendustes ja toodetes või kolmanda taseme töötlemise toorainena. [3]

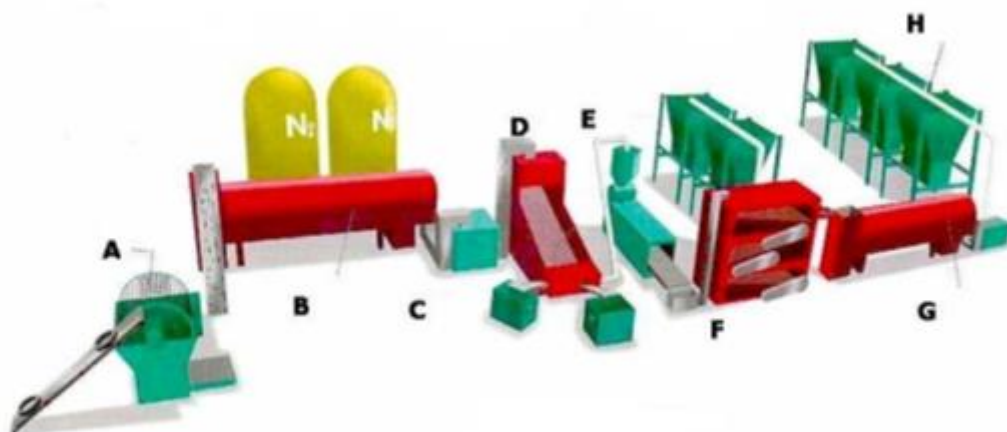
Purustamise meetodit kasutatakse tervete sõidu- ja veoautode rehvide peal. Purustamine on rehvide töötlemise viis, mis kasutab erinevaid tehnoloogiaid, et tükeldada nugade abil rehvi 50-300 mm suurusteks tükkideks. Rehvi rant ega vöö ei ole enne töötlemist, töötlemise ajal, ega peale töötlemist eemaldatud, kui see ei ole just esimene samm suuruse vähendamise protsessist. Hakkimine on tavaliselt purustamise teine samm, kus töötlemise käigus jäävad alles 10-50mm suurused rehvitükid. [3]

Ümbritseva jahvatamise nimetus tuleneb sellest, et kogu töötlemine toimub ümbritseval keskkonna temperatuuril ehk rehvide temperatuur on sama, mis ümbritsevas keskkonnas ja neid ei külmutata, et muuta neid rabedamaks. Kasutatakse kas terveid või varasemalt töödeldud sõidu- või veoauto rehve purustatud kujul. Ümbritsev jahvatamine (Joonis 4) on mitme astmeline tehnoloogia. Töötlemine võtab aset kas normaalsel või kõrgemal toatemperatuuril. Kummid, metallid ja tekstiilid eraldatakse järjestikku. Esmalt, lõigatakse materjal nugadega tükkideks. Kui tugevduste ja helmeste traadid ei ole enne protsessi eemaldatud, siis eemaldatakse traadid granulaatori protsessi ajal magnetite abil. Materjal võib läbida mitu järjestikust olevat granulaatorit, et vähendada selle suurust veelgi. Materjal läbib seeria sõelumis jaamadest, et eemaldada lõplikud jäägid ning tagada suuruse järjepidevus. Lõppfaasis eemaldatakse tekstiilijäägid ventilatsiooni kaudu. Väljundi suurus jääb vahemikku 0,5-15 mm, vastavalt vajadusele. [3]



Joonis 4. Ümbritseva jahvatamise süsteemi näide; A – purustaja, B - granulaator, C – terase ja tekstiili eemaldaja, D – peenestusmeetodid (1.1, 1.2, 1.3), E – pneumaatiline konveieri süsteem(1.1, 1.2, 1.3), F – materjalide eraldamise protsess, G – teisejärguline magneetiline eraldamine, H – tekstiili ja tolmu eelndamine. [13]

Krüogeense jahvatamise nimetus tuleneb sellest, et töötlemise käigus külmutatakse materjal kuni -80°C . Krüogeenseks jahvatamiseks (Joonis 5) kasutatakse üldiselt eeltöödeldud sõidu- või veoauto rehve toorainena, kõige sagedamini neist laaste või graanuleid. Töötlemine leiab aset väga madalatel temperatuuridel kasutades selle saavutamiseks vedel lämmastikku või kaubanduslikku külmutusagensit, et muuta materjal rabedaks. See on nelja etapiline süsteem, mis sisaldab esialgse suuruse vähendamist, külmutamist, eraldamist ning jahvatamist. Materjal siseneb külmutuskambrisse, kus kasutatakse vedelat lämmastikku, et külmutada see -80°C kuni -120°C , allapoole punkti, kus kumm ei käitu enam kui elastne materjal. Külmutus protsess muudab kummi rabedaks, et seda oleks lihtsam purustada soovitud suurusteks. Oma hapra oleku tõttu on lihtne eemaldada kiud ja metallid haamerveskis. Graanul läbib seeria magnetilisi ekraane ja sõelumisjaamu, et eemaldada viimased lisandite jäljed. Väljundi suurus jääb vahemikku 0,5-15 mm, vastavalt vajadusele. [3]



Joonis 5. Krüogeense jahvatamise süsteemi näide; A – esialgne purustaja, B – külmutamise tunnel, C – vasarveski, D – terase ja tekstiili eemaldus, E – kuivati, F – klassifikaator, G – teisejärguline lihvimisetapp, H – toote hoiustamise silod. [13]

Järgnevas tabelis (Tabel 3) on välja toodud ümbritseva ja krüogeense jahvatamise parameetrid. Kaasatud ei ole eraldi purustamine ja hakkimine, kuna need on osa ümbritsevast jahvatamisest.

Tabel 3. Ümbritseva- ja krüogeense jahvatamise parameetrid [13, 42]

Parameeter	Ümbritsev jahvatamine	Krüogeene jahvatamine
Töötemperatuur	Ümbritsev temperatuur, max 120 °C	Alla -80 °C
Töötlemismäär	10-30 mm osakeste korral 907-997 kg/h 30-40 mm osakeste korral 544 kg/h	1814-2721 kg/h
Suuruse vähendamise põhimõte	Lõikamine, rebimine, murdmine	Krüogeenselt töödeldud osakeste lõhkumine
Väljundi omadused	Käsnyas ja ebatasane,	Ühtlane ja sile
Osakeste suuruse jaotumine	Piiratud suuruse vähendamine ühe etapi kohta, suhteliselt kitsas osakeste suuruse jaotus	Lai osakeste suuruse jaotus, ulatudes 10mm kuni 0,2mm-ni, ühte etapi käigus
Ülalpidamis kulud	Kõrge	Madal
Elektri tarbitavus	Kõrge	Madal
Vedellämmastiku tarbimine	-	0,5-1,0 kgLN2 kilo rehvide kohta

Märkus. Tähis „-“ tähendab, et uuritava tehnoloogial puudub eelnimetatud parameeter.

Antud tabelist (Tabel 3) on nähtav nii ümbritseva kui krüogeense jahvatamise parameetrite võrdlust. Ümbritseva jahvatamise töötemperatuur sõltub parajasti ümbritsevast temperatuurist ning maksimaalne temperatuur, mille juures protsess veel töötab on 120 °C. Krüogeense jahvatamise puhul peab töötemperatuur olema vähemalt -80 °C või alla selle. Tabelis on välja toodud ümbritseval jahvatamisel kaks töötlemis määra, kus 10-30 mm suuruste osakeste jahvatamise käigus on töötlemismäär 907-997 kg/h ning 30-40 mm suuruste osakeste puhul 544 kg/h. Krüogeense jahvatamise töötlemismäär on kaks korda suurem, töödeldes läbi 1814-2721 kg/h. Ümbritseva jahvatamise suuruse vähendamise põhimõtte seisneb rehvide lõikamises, rebimises ja murdmises, aga krüogeense jahvatamise puhul lõhutakse rehvid osakesteks peale krüogeenset töötlemist. Saadud väljundid ümbritseva jahvatamise puhul on tavaliselt käsnjas ja ebatasased ning krüogeense jahvatamise puhul on väljund ühtlasema kujuga ning murdekohad on siledamad. Üks peamisi miinuseid ümbritseva jahvatamise puhul on osakeste suuruste jaotumine - kui krüogeense jahvatamise puhul ühe etapi läbimise tulemusena on kümne kuni 0,2 mm suurused osakesed, siis ümbritseva jahvatamise protsessi juures on piiratud suuruse vähendamine ühe etapi kohta. Sama tulemuse saamiseks tuleb läbida rohkem etappe. Ümbritseva jahvatamise puhul on nii ülalpidamiskulud kui elektri tarbimine suurem kui krüogeense jahvatamise puhul. Krüogeense jahvatamise puhul kulub vedellämmastikku 0,5-1,0kg ühe kilogrammi rehvide kohta.

2.3.3. Kolmanda taseme töötlemine

Kolmanda taseme töötlemisviisid ja tehnoloogiad töötlevad edasi materjali ühe või mitme omaduse muutmiseks mehaaniliste, termiliste, keemiliste või mehaanik-keemiliste protseduuride abil. Kõige sagedamini kasutatakse toorainena teise taseme väljundeid. Taastamine, devulkaniseerimine ja pürolüüs on representatiivsed näited kasutatud töötlemisviisidest. Väljundeid saab otseselt kasutada rakendustes ja toodetes või toorainena neljanda taseme töötlemiseks. [3]

Kummi algsete omaduste taastamise protsess kasutab vähendatud suurusega graanuleid toorainena. See on kahe etapiline termomehaaniline lõikamise protsess, mis muudab sisendmaterjali omadusi. Esimeses etapis graanulid plastifitseeritakse. Teise etapi ajal plastifitseeritud materjal töödeldakse termiliselt ja mehaaniliselt, millega murtakse vulkaniseeritud struktuur, selleks et taastada mõningad värsked kummi omadused. Teised

taastamisprotsessid kasutavad elastomeersete omaduste muutmiseks keemilist töötlemist. [3]

Devulkaniseerimine tähendab keemilises mõistes kummi muutmist elastest olekust tagasi plastsesse, vormitavas olekusse. Toorainena kasutatakse graanuleid või pulbrit mis on juba varasemalt eeltöödeldud, näiteks krüogeense või ümbritseva jahvatamise tulemusena. See on kahe etapiline protsess, kus esimeses etapis vähendatakse tooraine suurust, mis tavaliselt toimub mõnes teises rajatises. Teine etapp muudab materjali uuesti aktiivseks, tehes seda kummimolekulide ristsidemete arvu vähendades mis toimusid vulkaniseerimise käigus, et saadud materjali saaks hiljem taas vulkaniseerida. Tooraine on mehaaniliselt, keemiliselt, ultraheliga, või bioloogiliselt murendatud, et taastada mõned kummi algupärased omadused. Keemilised aktiveerivad ained võivad muuta saadud materjali füüsikalisi ja/või keemilisi omadusi, aga mehaanilised tehnoloogiad säilitavad lähteainete omadused. Küsitavate majanduslike ja keskkonnaprobleemide tõttu on termiline devulkaniseerimine tänapäeval harva kasutusel. Väljundiks on peen pulber, mille osakeste läbimõõt jääb 0-0,05 mm vahele. [3, 13, 38]

Järgnevas tabelis (tabel 4) on välja toodud erinevad devulkaniseerimis meetodi viiside parameetrid. Võrdlusesse ei ole toodud bioloogilist viisi, kuna kirjanduses ei ole sellest viisist põhjalikumalt räägitud ning seetõttu puudub ka vajaminevad parameetrid, mida saaks võrdluses kasutada.

Tabel 4. Devulkaniseerimis meetodi viiside parameetrid [38]

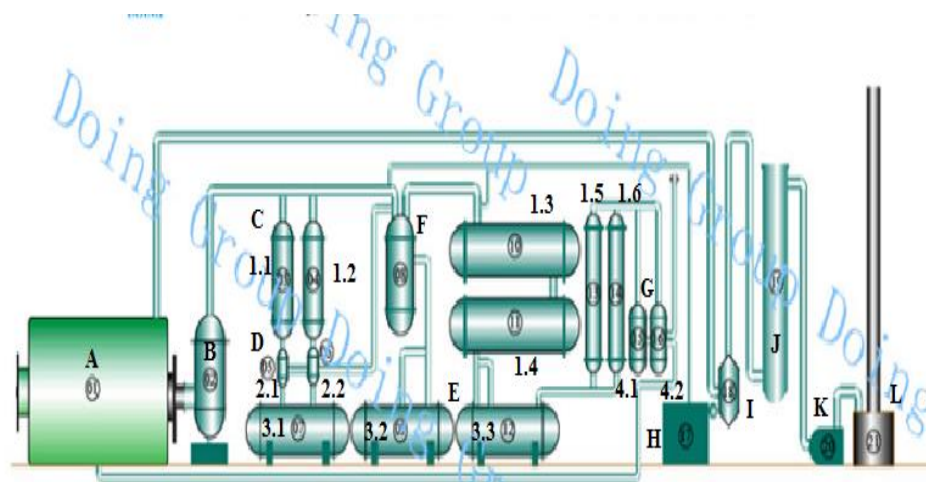
Meetod	Tooraine suurus (mm)	Töötlemismäär (kg/h)	Elektri tarbivus (kWh/kg)	Töötemperatuur (°C)
Ultraheli	10-30	2,3	1,3	110
Mehaaniline	5-10	200-300	0,4	-
Keemiline	0,5-2	4,5-6,8	-	260-315

Märkus. Tähis „-“ tähendab, et uuritaval tehnoloogial pole eelnimetatud parameetrit kirjandusallikatest leitud.

Eelnevas tabelis (Tabel 4) on välja toodud võrdluseks kolm erinevat devulkaniseerimise viisi, nendeks on: ultraheli, mehaaniline ning keemiline murendamine. Tooraine suurused ultraheli puhul on 10-30 mm, mehaanilisel viisil 5-10 mm ning keemilisel viisil 0,5-2 mm. Kõige suurema töötlemismääraga on mehaaniline murendamine, olles võimeline töötleva 200-300 kg/h, mis on kordades suurem kui ultraheli ning keemilise viisi puhul. Keemilise

murendamise töötlemismäär on 4,5-6,8kg/h ning kõige väiksema määraga on ultraheli, kus töötlemismääraks on kõigest 2,3kg/h. Kuigi mehaanilise viisi töötlemismäär on kordades suurem kui ultrahelil, siis tarbib mehaaniline murendamine elektrit kõigest 0,4 kWh/kg ning ultraheliga murendamine tarbib elektrit 1,3 kWh/kg, keemilisel murendamisel puuduvad andmed elektri tarbivuse kohta. Keemilise murendamise käigus tõusevad temperatuurid 260-315 °C, sõltuvalt keemilistest ainetest mida kasutatakse devulkaniseerimiseks. Ultraheli töötemperatuur on 110 °C ning mehaanilise viisi töötemperatuuri kohta andmed puuduvad.

Pürolüüs (Joonis 6) kasutab eelnevalt töödeldud sõidu või veoauto rehvide laaste põhilise toorainena. See on kahe etapiline protsess, mis kasutab termolagundamist, et kuumutada kummi hapniku puudumisel. Seejärel purustatakse see koostisosadeks, näiteks: õliks, gaasiks ja tahmaks. Protsess toimub järk-järgult, kuni materjali kuumutatakse temperatuurini 450-500 °C või kõrgemale. Tahma, õli ja gaasi tootmine toimub järk-järgult, toote gaasi üleminekuga seotud tasakaalu balansseerib temperatuuri tõus. Nii on võimalik puhast õlivaba tahma toota. Pürolüütiline tahm on peen pulber, mille osakeste läbimõõt on 0,4-1000 µm. Seda saab kasutada madala väärtusega tootmisprotsessides värv- või täiteainena. Pürolüüsi väljundit saab kasutada edaspidiseks neljanda taseme töötlemiseks, et toota majanduslikult huvitavamad süsinikust tooted, mis võivad toimida kui asendusainena mustale süsinikule. Väljundiks on rehvi õli, gaas ning tahm. [3]



Joonis 6. Pürolüüsi masin rehvi jäätmete jaoks; A – reaktor, B – katalüsaatori kamber, C – kondensaator (1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6), D – naftagaasi eraldus (2.1, 2.2), E – õlimahuti (3.1, 3.2, 3.3), F – nafta ja vee separaator, G – vee tihendusseade (4.1, 4.2), H – vaakumsüsteem, I – lõhna eemaldamise paak, J – tolmueemaldus seade, K – ventilaator, L – korsten. [5]

Järgnevas tabelis (Tabel 5) on välja toodud erinevad pürolüüsi meetodi tehnoloogiad ning nendes kasutatavad parameetrid. Näitena on välja toodud neli erinevat katsesüsteemi.

Tabel 5. Erinevad pürolüüsi katsesüsteemid [39]

Katsesüsteem	Töö temperatuur (°C)	Märkus	Toodang(kaal %)		
			tahm	õli	gaas
Keevkiht reaktor	500-600	Tooraine suurus 1-2 mm	30-40	51-65	5-9
Fikseeritud reaktor	500-800	Tooraine suurus 1-2 mm, kuumutamise kiirus 10 °C/min	37	30-38	23-30
Pöörlev ahi	550-680	Tooraine suurus < 2 mm	49	32-38	2-11
Horisontaalne ahi	400-900	Tooraine suurus < 2 mm	38-68	31-57	1-5

Tabelis 5 on välja toodud keevkihi- ja fikseeritud reaktori ning pöörleva- ja horisontaalse ahju parameetrid. Tabelis näeme, et keevkiht reaktorite puhul on töötemperatuuriks 500 kuni 600 °C, fikseeritud reaktori puhul on 500 kuni 800 °C ning kuumutamise kiirus toimub 10 °C minutis. Pöörleva ahju töötemperatuurideks on 550 kuni 680 °C ning horisontaalse ahju puhul on nelja katsesüsteemi võrdluses kõige madalam töötemperatuur 400 °C ning ka kõige kõrgem töötemperatuur 900 °C. Reaktorite puhul on tooraineks 1-2 mm suurused rehvi laastud ning ahjudes kasutatakse toorainena 2 mm või suuremaid laaste. Toodanguna hõlmab nii reaktorite kui ahjude puhul suure osa tahm ning õli, keskmiselt 30-68% ning gaas keskmiselt 1-11%, kuid fikseeritud reaktori puhul on gaasi osakaal teistest märgatavalt suurem, olles lõpptoodangust 23-30%.

2.3.4. Neljanda taseme töötlemine

Neljanda taseme töötlemises peamiselt täiendatakse, muudetakse või genereeritakse spetsiifilisi tunnuseid või materjali omadusi kolmanda taseme väljundust, mis on ka enamjaolt tooraine. Kõige esinduslikumad toodangud on taas aktiveeritud/pinna

modifitseeritud/devulkaniseeritud materjalid, uuendatud süsiniku produktid ning uued ühendid. [3]

Pürolüütilise süsiniku täiteaine järel töötlus pürolüüsist väljastatud mehaaniline eraldamine, füüsiline või keemiline töötlemine, millega on võimalik parandada süsinikust täiteainet tema suuruse vähendamise ja ebavajalike ühendite eemaldamisega. Järeltöötused genereerivad materjale millel on sarnased karakteristikud eri tüüpi musta süsinikuga, mida praegu kasutatakse mitmesuguste kaubanduslike toodete valmistamiseks ja mis on tehniliste kummitoodete jaoks väärtuslikud. Resonantsi lagunemine on osakeste killustumise innovaatiline näide, milles kasutatakse resonantsi jõude, et osakesi üksteisest lahku vibreerida. Resonantsi lagunemine võib võtta pürolüütilisest süsinikust täiteaine, mille maksimaalne osakeste suurus on 30-600 µm, ning protsessi tulemusena on 50% osakestest 1 µm suurused. Tulemusena saadud pulber on väga sarnane tavalisele mustale süsinikule. [3]

Termoplastse elastomeeride tootmine kasutab graanuleid, mis on toodetud vanadest sõidu- või veoauto rehvidest. Protsess vajab kahte toorainet, graanuleid ja termoplastilist ainet. See on kahe etapiline taas aktiveerimine ja segamise protsess, mis ühendab omavahel graanulid ja termoplastilise aine. Taas aktiveerimise- ja segamisprotsessid toimuvad suure nihkejõu korral tavalises segistis. Graanul toimib elastomeerina kummi faasi ajal, kui mõlemad toorained omavahel rist-ühendatakse, luues uue termoplastse elastomeeride ühendi. [3]

3. TULEMUSED JA METOODIKA

Kuna vanade rehvide jäätmete tekkimine on ülemaailmne probleem, siis kulub suur hulk uuringuid ning teadustöid nende rehvide ümbertöötlemisest saadud tooraine suunamiseks taaskasutusse. Uute taaskasutamise viiside väljatöötamisega tuleb silmas pidada ka erinevaid kriteeriume. Peamiseks kriteeriumiks on, et uus väljamõeldud tehnoloogia ei reostaks mingil moel ümbritsevad keskkonda rohkem, kui seda tegid rehvid ning selle kasutamine oleks ohutu. Teiseks kriteeriumiks on jätkusuutlikkus, et uut väljamõeldud tehnoloogiat oleks võimalik kasutada veel mitmeid aastaid ning saavutaks ka oma ettenähtud kasuteguri valdkonnas, kus seda kasutatakse.

3.1. Rehvide kasutamine energia tootmiseks

Üks rehvide taaskasutamise viise on kasutatud rehvide põletamine kõrgetele temperatuuridel ahjudes energia saamiseks. Tavaliselt viiakse sellised põletamised läbi elektrijaamades ja tsemendi tootmise ahjudes. Kuigi rehvi põletamisel tekib tavaliselt must ja paks suits, siis kõrgtemperatuurilistes ahjudes korrapäraste korstnate filtreerimisega saavutatakse täielik põlemine ilma taolise suitsuta. [4]

Tsement valmistatakse kõrgtemperatuurilistes ahjudes, kus toorained paigutatakse ahju ning kuumutatakse temperatuurini 1455 kuni 1510 °C. Kasutatud rehve saab nendes ahjudes täielikult ära põletada, kuna temperatuurid koos täiendava hapnikusisaldusega on väga kõrged, mis tagab rehvide täieliku põlemise ning seetõttu ei teki ka paksu musta suitsu ega ebameeldivaid aroome. [4]

Rehvide põletamine tsemendi tootmisel võib tagada tootismäärade tõusu eelkuumutusahjudes. Selle teeb võimalikuks eelsoojendi kaltsineerimis määr, mis suureneb eelsoojendis rehvide põletamisel võrreldes tavalise kaltsineerimis määraga üksnes kivistõel põletamisel. On teada, et kaltsineerimis määrad suurenesid 45%-lt 56%-ni, kui kivistõel põletati kasutatud rehve. Ahjudes olev süsinikdioksiidi tase väheneb, kui põletatakse rehve; sel viisil kasutatakse täiendavat hapnikku, mis tagab täieliku põlemise ahjus. [4]

Rehvide põletamine püstitab ka mõned murekohad keskkonna seisukohast vaadates, kuna rehvid sisaldavad kuni 17 raskemetalli (näiteks plii, kroom ja elavhõbe) lisaks naturaalsele kummile, sünteetilisele kummile, mustale süsinikule, täiteõlile ja kloorile. Kuna nende ainete sisse hingamine on tervisele kahjulik, siis tehased mis põletavad kasutatud rehve peavad tagama ka selle, et neid osakesi õhku ei satuks. Selle probleemi lahenduseks on olemas spetsiaalsed nõuetele vastavad filtrid, mis käivad tehaste korstnatesse. [4]

3.2. Rehvide kasutamine töötlemata kujul

Vanu rehve saab ära kasutada nende vastupidavuse ja kummis olevates terasest tugevduste tõttu. Kuna rehvi sees olevad terastraadid on ümbritsevalt kaitstud, siis säilivad rehvid pikka aega, isegi karmides tingimusteks, nagu näiteks sadamates paatide kaitserauana soolases vees, suure liiklusega sillutatud teede all või pideva surve all ebastabiilsetel nõlvadel. Kui rehvid on paigutatud üksteise kõrvale ning omavahel kinni köidetud klambrite või traadiga ning täidetud liiva või kruusaga, siis antud lahendus aitab stabiliseerida ka maapinda. [4]

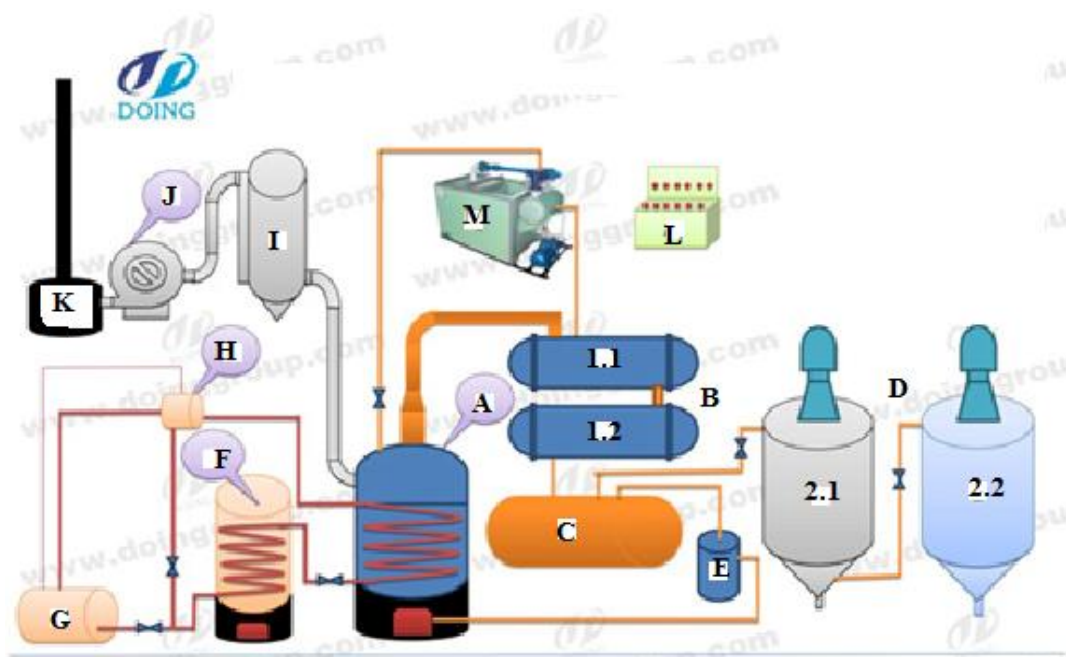
3.3. Rehvide kasutamine betoonisegus

Tänapäeval toodetud betoon kestab realistlikult kuni 50 aastat, sõltuvalt segust, tugevdustest, paigutusest ja ümbritseva keskkonna tingimustest. Püüdes betooni vastupidavust ja kestvust parandada on teadlased üritanud ümbertöödeldud rehve kasutada betoonisegus. Selle töö tulemused on olnud positiivsed, tõestades, et see segu võib aidata pikendada betoonikonstruktsioonide ning sildade eluiga ja samal ajal vähendades ka prügilates olevaid jäätmeid. [22]

Segus olevad polümeerikiud toimivad sidumisainena, mis vähendavad oluliselt betooni pragunemise arengut. Kasutatud rehvid on peenestatud ning seejärel lisatakse betoonisegule. Ideaalne segu koosneb 0,35% rehvikiuust. Kasutades seda betoonisegus, loovad kummist kiud veel vastupidavama ja pikaajalisema betooni. Suurim kasu paindlikuma betoonisegu juures on betoonkonstruktsioonides ja sildadel tekkinud pragunemiste vähenemine. [22]

3.4. Rehviõlist diisliõli tegemine

Rehvi õli saadakse pürolüüsi ümbertöötlemise meetodiga. Rehvi õli kasutatakse suurte tööstuste poolt peamiselt kütmiseks, kuid kui soovitakse otseselt kasutada generaatorite, laevade, veoautode jaoks, siis tuleb see rafineerida diisliõliks. Selle protsessi jaoks on spetsiaalsed rafineerimise masinad (Joonis 7), mis suudavad rehvi õlist teha kõrge kvaliteediga diisliõli. Kõigepealt pannakse õlipumbaga rehvi õli destillatsiooni reaktorisse, õli kuumutatakse üle 170 °C ning seejärel hakkab õlist gaas eralduma. Õli destilleerimise käigus saadud gaas jahutatakse maha kondensaatorites ning saadakse puhas destilleeritud õli. Nüüd pumbatakse õli edasi lõhna eemaldamise paaki, kus kasutatakse lõhna eemaldus katalüsaatoreid. Seejärel liigub õli edasi värvi-eemaldus paaki, kus eemaldatakse spetsiaalse katalüsaatori abil õli must värvus. Lõpptoodanguks on peaaegu 85% puhtusega diislikütus. [6,9]



Joonis 7. Õli rafineerimise süsteemi näide; A – destillatsioonireaktor, B – kondensaator(1.1, 1.2), C – õlimahuti, D – katalüütiline reaktor(2.1, 2.2), E – vee tihendusseade, F – boiler, G – juhtivusõli mahuti, H – juhtivusõli puhvermahuti, I – tolmueemaldus süsteem, J – ventilaator, K – korsten, L – juhtimiskapp, M – vaakumsüsteem. [6]

3.5. Teede, raudteede ja mänguväljakute ehitusmaterjalina

Ümbertöödeldud rehvid leiavad suurt kasutust just teede, raudteerööbaste ja mänguväljakute ehituses.

Rongi rataste segus kasutatud purustatud kumm teeb selle 200% võrra tugevamaks kui tavalise rongi ratta. Sellised rattad säilivad pea 90 aastat ning aitavad säästa raha raudteede korrashoidmiseks. Peale rongide rataste kasutatakse kummi ka raudtee rööbaste ehituses, kuna nad annavad rööbastele vibratsiooni neelava omaduse. [7]

Ümbertöödeldud auto rehve kasutatakse ka kummist põrandakatte valmistamiseks, mis on kogunud suurt tähelepanu, tänu oma paljudele disainilahendustele ja värvidele. Selle materjalil on ka omad plussid: 1) vastupidav, 2) kerge hooldada ja 3) veekindel ja miinused: 1) maksumus 2) õmblused mis lasevad vett läbi ja 3) libe materjal, aga fakt et see püsib üle 30 aasta, meelitab ligi väga paljusi inimesi. Pealegi, pole sellise põranda puhastamiseks vaja spetsiaalseid tooteid, mis hoiab ka sees oleva õhu kemikaali vabana. [7, 41]

Purustatud rehve saab taaskasutada lisades neid asfaldi segule juurde, et parandada teeolusid. Kummeeritud asfalt aitab ennetada manatee kahjustusi ning säästab hoolduse pealt kulutusi. Materjal on ka müra summutav, seega maanteel tekkiv müra on vähendatud umbes 7 detsibelli võrra. Aastal 2005, oli USA-s umbes 7,4 miljonit ümbertöödeldud rehve kasutatud uute maanteede ehitamiseks. [7]

Ümbertöödeldud rehvid sobivad hästi mänguväljakute, jooksuradade ja mattide ehituseks, kuna kumm imab kokkupõrkest tekkivad jõu enda sisse. Ümbertöödeldud rehvid on puhtad, raha säästvad ning vastupidavad. [7]

3.6. Protekteerimine

Protekteerimine on protsess, mille käigus saame oma vanu rehve uuesti kasutada. Selles meetodi käigus võetakse hea struktuurse kvaliteediga kulunud rehvi millega viiakse läbi protsess, milles talle lisatakse uus turvis ning külgeginad. Pärast seda viiakse uuendatud rehvi edasi kuumtöötlusprotsessile, kus uus kumm vulkaniseeritakse originaalsesse korpusesse ja seega saab rehvi ka uue turvisemustri. Aastate jooksul on maailmas toimunud rehvide valmistamise valdkonnas suur areng. Kõrgtehnoloogilised rehvid valmistatakse kasutades esmaklassilist tehnoloogiat, et nad saaksid veatult täita oma eesmärgi, mitte ainult oma esimese vaid ka teise ning mõnikord ka kolmanda „eluea“ jooksul. [14]

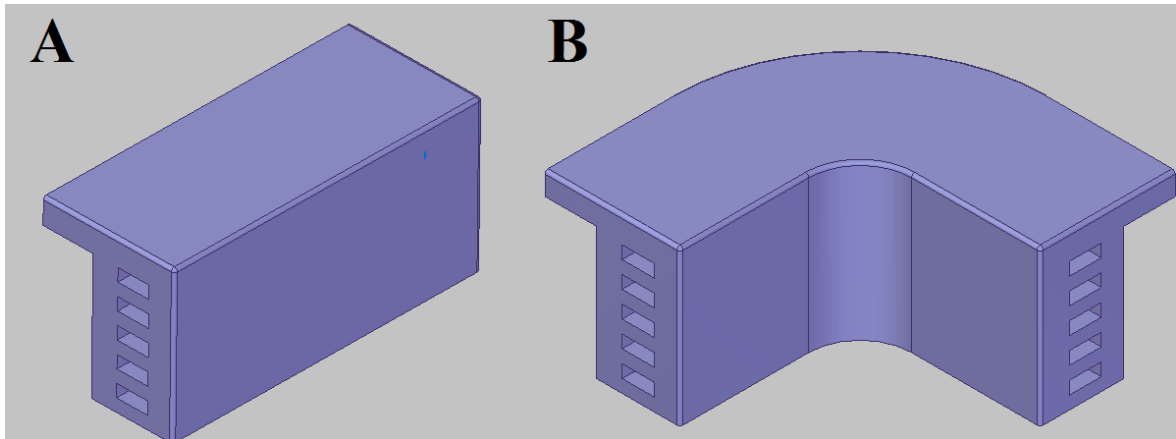
Rehvide ümbertöötlemise tehnoloogial on nii omad plussid kui ka miinused. Peamisteks protekteerimise plussideks on: 1) protekteeritud rehvid on üsna ohutud ning seda tehnoloogiat kasutatakse erinevate sõidukite rehvide peal ja 2) väga keskkonnasõbralik, kuna säästab miljoneid liitreid õli, mis on vajalik uute rehvide tootmiseks ning nii satub ka vähem vanu rehve prügilatesse. Peamisteks miinusteks on: 1) turule on tulnud odavamad rehvid, mis maksavad vähem kui rehvide protekteerimine ja 2) protekteerimise käigus lisatakse vanale rehvidele uus turvis ning külge, ilma et vahetataks infrastruktuuris olevaid traate. [14]

Suurel määral on protekteerimise tehnoloogia kasutusel just veoautode rehvide ümbertöötlemisel, kuid turg on hakanud laienema ka sõiduautode rehvideni. Käesolev tehnoloogia on ohutu ning aitab säästa ka keskkonda, kuna säästab suurtes kogustes rehvide valmistamisel kasutatavaid materjale.

3.7. Rehvijäätmetest toote arendus

Seoses korraldatavate võidusõiduautode linnarallidega, tekkis töö autoril idee uue toote arendusele. Uue toote näol on tegemist tänavarallil kasutatavatest elastsetest piiretest. Need asetatakse äärekivide või betoonpiirete peale, et auto kokkupõrkel piirdega ei oleks kahjustused nii suured. Seetõttu peab antud toode olema kokku surutav, et pehmendada lööki.

Autori arvates, sobiks esialgseks töötlemiseks krüogeene jahvatamine, kus eeltöödeldud kasutatud rehvidest saab ühe tehnoloogia kasutamisel kohe vajamineva väljundi, milleks on kummipuru. Seejärel segatakse saadud kummipuru läbi liimainega ning valatakse spetsiaalsesse vormi, kus segu kuum töödeldakse, et vormist välja võttes jääks struktuur püsima. Elastsete piirete plussiks on: 1) auto suuremate kahjustuste ära hoidmine kokkupõrkel piirdega, 2) turvalisem, 3) säästab äärekive ning betoonpiirdeid. Miinusteks on: 1) kokkupõrkel tuleb piire käsitsi tagasi asetada ja 2) suur mass. Järgneval joonisel (joonis 8) on välja toodud elastsete piirete toote näidised sirge- ja kõverusraadiusega äärekivi puhul.



Joonis 8. Modelleeritud elastne äärekivi piire; A – sirge äärekivi piire, B - kõverusraadiusega äärekivi piire.

Eeloleval joonisel on näha, millised võiks elastsed piirded mida kasutatakse äärekivide või betoonpiirete katteks välja näha. Kujutatud piirdega tuleks enne suurema mahulist tootmist läbi viia ka katsed, kas etteantud lahendus sobib või peab seda veel modifitseerima ning kas see täidab oma ettenähtud ülesannet. Antud piiret on võimalik toota standardsete mõõtmete järgi, vastavalt vajadusele.

KOKKUVÕTE

Antud uurimustöö eesmärgiks oli uurida ning anda ülevaade kasutatud rehvide taaskasutamise ning ümbertöötlemise tehnoloogiatest. Eelnevalt püstitatud ülesanded töö eesmärgi saavutamiseks on täidetud ning seega on ka uurimustööle seatud eesmärk täidetud.

Töös kasutati erinevatest allikatest kogutud informatsiooni, et anda põhjalik ülevaade kasutatud rehvide taaskasutuse ning ümbertöötlemise tehnoloogiatest. Töös anti ülevaade vanade rehvide mõjust ümbritsevale keskkonnale, kuidas see ümbritsevat pinda reostab ning mis ohud ennast seal varjavad.

Välja on toodud ka Euroopas kasutusel olevad rehvide ümbertöötlemise juhtimistüübid. Rehvide ümbertöötlemise juhtimistüüpide alusel on tehtud ülevaade erinevatest riikidest, kus igat tüüpi esindab 2-3 riiki ning seejärel on teostatud analüüs, hindamaks milline juhtimistüüpidest on kõige efektiivsem, selleks on maksesüsteem.

Töös on ülevaade hetkeseisust Eestis, kus suureks probleemiks on vanade rehvide käitlemisvõimaluste puudumine ning kuidas probleemi lahendamiseks töötas keskkonnaministeerium välja ettepanekud jäätmeseaduse muutmiseks. Ka autor ise on pakkunud omapoolse lahenduse päevakorras oleva probleemi lahendamiseks ning pakkus välja soovitusi hakata rehviõlist tootma diisliõli, kui Eesti Energia saab Euroopa komisjonilt loa rehviõli tootmiseks.

Rehvide ümbertöötlemise tehnoloogiad on jaotatud nelja tasemesse, kus iga järgneva taseme tehnoloogia protsessi väljund on eelmise taseme väljundist väiksem. Esimese taseme töötlemises kasutatakse mehaanilisi vahendeid, et muuta rehvi struktuuri, näiteks kuju, kandevõimet ja jäikust. Teise taseme töötlemises kasutatakse rehvide purustamist ja hakkimist meetodit, ümbritsevat jahvatamist ning krüogeenset jahvatamist, mille väljundi osakeste suurus jääb vahemikku 0,5-15 mm. Kolmanda taseme töötlemises on kummi algsete omaduste taastamine, devulkaniseerimine ning pürolüüs, mille väljundiks on peen pulber, mille osakeste suurus jääb vahemikku 0-0,05 mm. Neljandas ehk viimases tasemes toimub pürolüütilise süsiniku täiteaine järeltöötlus ning termoplastse elastomeeride tootmine, mille

väljundiks on väga peen pulber, kus osakeste suurus jääb vahemikku 0-500 µm. Tasemete kaupa on tehnoloogiaid võrreldud ning seejärel teostatud ka analüüs.

Omavahel on võrreldud teises tasemes ümbritsevat ja krüogeenset jahvatamist. Kolmandas tasemes devulkaniseerimise kolme eri meetodit, milleks on: 1) ultraheli, 2) mehaaniline ja 3) keemiline ning pürolüüsi katsesüsteeme: 1) keevkiht reaktor, 2) fikseeritud reaktor, 3) pöörlev ahi ja 4) horisontaalne ahi.

Peamised taaskasutamise tehnoloogiad on rehvide kasutamine energia tootmiseks, betoonisegus, teede ehituses ning rehviõlist diisliõli tegemine. Vanu rehve kasutatakse ka protekteerimise protsessis, mille käigus lisatakse hea struktuuriga vanale rehvidele uus turvis ning külgliseinad. Välja on toodud ka protekteerimise plussid, milleks on keskkonnasõbralikkus, kuna säästab miljoneid liitreid õli mida on vaja uute rehvide tootmiseks ning miinused, milleks on ebapädev kvaliteet võrreldes uue rehvidega.

Autori poolt on välja pakutud ka uus tootearendus, milleks on elastsed piirded. Neid on võimalik kasutada linnarallidel äärekivide ning betoonpiirete katteks, et kokkupõrkel äärekivi või betoonpiirdega oleks autole põhjustatud kahjustused minimaalsemad.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Rehvipartner (2018) Kuidas valmib sõiduauto rehvi? https://rehvipartner.ee/Hea_teada/Kuidas_valtootmib_s%C3%B5iduauto_rehv/ (16.04.2018)
2. Michelin (2018). Materials. <http://thetiredigest.michelin.com/an-unknown-object-the-tire-materials> (16.04.2018)
3. **Truman, V. L** (2004) Tyre recycling. 144 lk. (16.04.2018)
4. **Achillas, D.** (2012) Material recycling: Trends and Perspectives. 406 lk. (19.04.2018)
5. Henan Doing Mechanical Equipment Co. (2017) How pyrolysis Works step by process waste tire/plastic? [veebileht] http://www.wastetireoil.com/Pyrolysis_faq/Auxiliary_equipment/waste_tire_plastic_pyrolysis_plant370.html (19.04.2018)
6. Henan Doing Mechanical Equipment Co. (2016) Tyre to diesel. [veebileht] http://www.wasteoiltodieseloil.com/tyre_to_diesel/ (19.04.2018)
7. Utires. (2017) What are recycled car tyres used for. [veebileht] <https://www.utires.com/articles/what-are-recycled-car-tyres-used-for/> (19.04.2018)
8. **Dinesen, C.** (2008) What Are the Environmental Impacts of Throwing Away Tires? [e-ajakiri] <http://homeguides.sfgate.com/environmental-impacts-throwing-away-tires-79649.html> (19.04.2018)
9. Henan Doing Mechanical Equipment Co. (2017) Tire oil to diesel refining machine. [veebileht] http://www.wastetireoil.com/Pyrolysis_plant/Waste_oil_distillation/Tire_oil_to_diesel_refining_machine_185.html (23.04.2018)
10. ETRMA (2018) ELT management in Europe – volume situation 2016. http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/20180502---2016-elt-data_for-press-release.pdf (23.04.2018)
11. ETRMA. (2018) ELT management schemes. [veebileht] <http://www.etrma.org/tyres/ELTs/ELT-management/ELT-management-schemes> (23.04.2018)
12. ETRMA (2018) ETRMA 2015 ELT Management Figures http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/2017-01-25_2015-elt-data_final.pdf (23.04.2018)
13. **Reschner, K.** (2008) Scrap Tire Recycling: A Summary of Prevalent Disposal and Recycling methods. 16 lk. [lühikäsitus] (28.04.2018)
14. CarDekho. (2018) What is Tyre Retreading? – Advantages and Disadvantages. [veebileht] <https://tyres.cardekho.com/news/what-is-tyre-retreading-advantages-and-disadvantages/>

(28.04.2018)

15. **BNS.** (2016) Keskkonnainspeksioon peatas vanarehvide käitlemise hanke [e-ajakiri] <https://majandus24.postimees.ee/3856593/keskkonnainspeksioon-peatas-vanarehvide-kaitlemise-hanke> (28.04.2018)

16. MTÜ Eesti Rehviliit. (2016) MTÜ Eesti Rehviliit on lõpetanud tegevuse tootjavastutusorganisatsioonin [veebileht] http://rehviliit.ee/web2/?cat_ID=1 (28.04.2018)

17. MTÜ Rehvinglus. (2018) MTÜ Rehvinglus [veebileht] <http://rehvinglus.ee/mtu-rehvinglus/> (3.05.2018)

18. **Alvela, A.** (2017) Narva jaamad on aasta pärast valis kõik vanarehvid õliks tegema [e-ajakiri] <http://maaleht.delfi.ee/news/maaleht/uudised/narva-jaamad-on-aasta-parast-valmis-koik-vanarehvid-oliks-tegema?id=79896214> (3.05.2018)

19. **Koovit, K.** (2017) Eesti Energia hakkas Iru jäätmepeletusjaamas vanarehve ahju ajama [e-ajakiri] <http://arileht.delfi.ee/news/uudised/eesti-energia-hakkas-iru-jaatmepoletusjaamas-vanarehve-ahju-ajama?id=77428016> (3.05.2018)

20. Vanarehvide probleemi lahendamise ettepanekud. (seaduse muudatuse jõustumine jaanuar 2018). – Keskkonnaministeerium <https://www.envir.ee/et/vanarehvide-probleemi-lahendamise-ettepanekud> (3.05.2018)

21. Keskkonnaministeerium. (2018) Rehvid ja vanarehvid. [veebileht] <https://www.envir.ee/et/vanarehvid> (3.05.2018)

22. Giatec Scientific Inc. (2017) Benefits of Using Recycled Tires in Concrete. [veebileht] <https://www.giatecscientific.com/education/benefits-to-using-recycled-tires-in-concrete/> (11.05.2018)

23. ETRMA. (2018) ETRMA 2014 ELT Management Figures. [http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/2017-01-25_2014-elt-data_final-\(2\).pdf](http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/2017-01-25_2014-elt-data_final-(2).pdf) (11.05.2018)

24. ETRMA. (2018) End of Life Tyre report 2015. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwjQn-6kiJDbAhWD66QKHUYSDU0QFjABegQIARAx&url=http%3A%2F%2Fwww.etrma.org%2Fuploads%2FModules%2FDocumentsmanager%2Felt-report-v9a---final.pdf&usg=AOvVaw1T9H29ZekvMLJR1XCBrqFv> (11.05.2018)

25. ETRMA. (2018) UT/Part Worn Tyres/ELT's Europe - Volumes Situation 2012. http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/2013-10-02_elt-data-2012_final.pdf (11.05.2018)

26. ETRMA. (2018) UT/Part Worn Tyres/ELT's Europe - Volumes Situation 2011. http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/2012-11-30_ut-recovery-2011---table-for-press-release_final_all-countries-incl-uk.pdf (11.05.2018)

27. ETRMA. (2018) UT/Part Worn Tyres/ELT's Europe - Volumes Situation 2010. http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/2011-07-11_ut-recovery-2010---table-for-press-release_final.pdf (11.05.2018)
28. ETRMA. (2018) End of life tyres 2010 http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/2010_etrma_elt_management_brochure_final.pdf (11.05.2018)
29. ETRMA. (2018) End of life tyres 2007. http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/2007_etrma-elts-management.pdf (11.05.2018)
30. ETRMA. (2018) End of life tyres 2006. http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/2006_etrma_elts_report.pdf (11.05.2018)
31. Rehvidest tekkinud jäätmete kogumise, tootjale tagastamise ning taaskasutamise või kõrvaldamise nõuded ja kord (jõustumine 09.07.2010). – Riigi Teataja <https://www.riigiteataja.ee/akt/13335801?leiaKehtiv> (14.05.2018)
32. Henan Doing Mechanical Equipment Co. (2017) 10 tons of waste tyres will produce how much diesel? [veebileht] http://www.wastetireoil.com/Pyrolysis_faq/Waste_oil_distillation/10_tons_of_waste_tyres_will_produce_how_much_diesel_200.html (14.05.2018)
33. **Tuul, M., Šandali, M.** (2016) SENSOR: Keskkonda reostavad kummimäed võivad Eesti rehvidest üldse ilma jätta. [e-ajakiri] <http://tv.delfi.ee/saated/sensor-keskkonda-reostavad-kummimaed-voivad-eesti-rehvidest-uldse-ilma-jatta?id=76035235> (14.05.2018)
34. BNS. (2018) Eesti Energia ootab Euroopa Komisjoni luba vanarehvidest energia tootmiseks. [e-ajakiri] <https://tarbija24.postimees.ee/4479758/eesti-energia-ootab-euroopa-komisjoni-luba-vanarehvidest-energia-tootmiseks> (14.05.2018)
35. ETRMA. (2018) Producer Responsibility. [veebileht] <http://www.etrma.org/tyres/ELTs/ELT-management/producer-responsibility> (14.05.2018)
36. ETRMA. (2018) Tax System. [veebileht] <http://www.etrma.org/tyres/ELTs/ELT-management/tax-system> (14.05.2018)
37. ETRMA. (2018) Free Market System. [veebileht] <http://www.etrma.org/tyres/ELTs/ELT-management/free-market-system> (14.05.2018)

38. CalRecovery, Inc. (2004) Evaluation of Waste Tire Devulcanization Technologies. 95 lk. [aruanne]
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiLqv_Y9pTbAhWKfYwKHfsNDfcQFjAAegQIARAg&url=http%3A%2F%2Fwww.calrecycle.ca.gov%2Fpublications%2Fdocuments%2FTires%255C62204008.doc&usg=AOvVaw20Zs_k6bocudxBXCQqffLV (15.05.2018)
39. **Giorgini, L., Benelli, T., Leonardi, C., Mazzocchetti, L., Zattini, G., Cavazonni, M., Montanari, I., Tosi, C.** (2015) Efficient Recovery of Non-Shredded Tires via Pyrolysis in an Innovative Pilot Plant. [e-ajakiri]
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjugdOQvpTbAhUjMewKHQ-yBhkQFjAAegQIARAs&url=http%3A%2F%2Fwww.eemj.icpm.tuiasi.ro%2Fpdfs%2Fvol14%2Fn07%2FFull%2F15_1057_Giorgini_14.pdf&usg=AOvVaw3X9Cmch03cKRMbn_3WjwSH (16.05.2018)
40. Eco Green Equipment. (2018) How do old discarded tires affect the enironment [veebileht] <http://ecogreenequipment.com/how-do-old-discarded-tires-affect-the-environment/> (20.05.2018)
41. Lewitin, J. (2017) Rubber Flooring Tiles: Pros and Cons [e-ajakiri]
<https://www.thespruce.com/durability-of-rubber-flooring-tiles-1314691> (20.05.2018)
42. CWC (2004) Ambient Versus Cryogenic Grinding.
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwja_vLasp3bAhXC2SwKHVj-AVUQFgg4MAI&url=http%3A%2F%2Finfohouse.p2ric.org%2Fref%2F13%2F12522.pdf&usg=AOvVaw2THAaPBOOS3YXpuAITSpHy (24.05.2018)

LISAD

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta.

Mina, Raivo Rudissaar

Sünniaeg 15.08.1996,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö „Kasutatud rehvide taaskasutuse tehnoloogiate uurimus“

mille juhendaja on lektor Lemmiks Käis (MSc),

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(allkiri)

Tartu, _____
(kuupäev)

Juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)